

## Beschreibung

## Optisches Übertragungssystem

- 5 Die Erfindung betrifft ein optisches Übertragungssystem bestehend aus mehreren optischen Faserstreckenabschnitten mit jeweils einer optischen Faser und einer Dispersionskompensationseinheit.
- 10 Bei allen optischen Übertragungssystemen mit hohen Datendurchsatzraten, so auch bei nach dem WDM-Prinzip (Wavelength Division Multiplexing) arbeitenden Übertragungssystemen, werden durch die bei der Übertragung von optischen Signalen über optische Fasern auftretende chromatische Dispersion und die
- 15 Selbstphasenmodulation (SPM) Verzerrungen in dem zu übertragenden, optischen Datensignal hervorgerufen - siehe hierzu Grau und Freude: "Optische Nachrichtentechnik - Eine Einführung", Springer-Verlag, 3. Auflage, 1991, S.120-126.
- 20 Derartige Verzerrungen des zu übertragenden, optischen Datensignals sind unter anderem abhängig von der Eingangsleistung des optischen Datensignals. Desweiteren wird durch derartige Verzerrungen die regenerationsfreie Übertragungsreichweite eines optischen Übertragungssystems bestimmt, d.h. die optische Übertragungsstrecke über die ein optisches Datensignal
- 25 übertragen werden kann, ohne daß eine Regeneration bzw. "3R-Regeneration" (elektronische Datenregeneration hinsichtlich der Amplitude, Flanke und des Taktes eines optisch übermittelten, digitalen Datensignals bzw. Datenstromes) durchgeführt werden muß.
- 30

Um derartige Verzerrungen des optischen Datensignals zu kompensieren, werden bei der Übertragung von optischen Signalen über optische Standard-Monomodenfasern geeignete Dispersions-

35 kompensationsseinheiten vorgesehen bzw. ein an die optische Übertragungsstrecke angepaßtes Dispersionsmanagement eingesetzt. Hierzu sind derartige optische Übertragungssysteme

überwiegend in mehrere optische Faserstreckenabschnitte unterteilt, in denen die jeweils in dem betrachteten optischen Faserstreckenabschnitt hervorgerufene Faserdispersion mit Hilfe einer Dispersionskompensationseinheit komplett oder  
5 teilweise kompensiert wird.

Derartige Dispersionskompensationseinheiten sind beispielsweise als optische Spezialfasern ausgestaltet, bei denen durch eine spezielle Wahl des Brechzahlindexprofils im Faserkern und den umliegenden Mantelschichten der optischen Faser die Dispersion bzw. Faserdispersion, insbesondere im 1550 nm Fenster sehr hohe negative Werte annimmt. Mit Hilfe der durch die dispersionskompensierende Faser hervorgerufenen, hohen negativen Dispersionswerte können die durch die optischen Übertragungsfasern erzeugten Dispersionsbeiträge effektiv kompensiert werden. Zusätzlich ist die maximale Anzahl von optischen Faserstreckenabschnitten bzw. die regenerationsfreie Reichweite des optischen Übertragungssystems durch das Augendiagramm ("eye-opening") des am Ausgang des jeweiligen optischen Faserstreckenabschnitts anliegenden optischen Datensignals bestimmt. Hierdurch ergibt sich eine maximale Reichweite für eine regenerationsfreie Übertragung eines optischen Datensignals, die zusätzlich durch das optische Signal-Rausch-Verhältnisses des Übertragungsmediums bestimmt  
25 ist.

In bislang realisierten optischen Übertragungssystemen werden hierzu unterschiedliche Dispersionsmanagementkonzepte verfolgt, wobei die optimale Dispersionskompensation einer optischen Übertragungsstrecke durch Verwendung von vor- und/oder nachkompensierten bzw. unterschiedlich über- oder unterkompensierten optischen Faserstreckenabschnitten durchgeführt wird. Abhängig von der Faserdispersion kann damit eine bestimmte Entfernung regenerationsfrei übertragen werden.

35 Hierzu ist aus DER FERMELDE-INGENIEUR:

"Wellenlängenmultiplextechnik in zukünftigen photonischen

Netzen", A. Ehrhardt et. al., 53. Jahrgang, Heft 5 und 6, Mai/Juni 1999, S. 18-24 bekannt, daß das Systemoptimum zur Dispersionskompensation eines optischen Übertragungssystems bei einer Dispersionskompensation von unter 100 % erreicht

5 werden kann. Desweiteren geht aus der obengenannten Druckschrift hervor, daß die chromatische Faserdispersion zu einem bestimmten Teil durch Fasernichtlinearitäten selbst kompensiert werden kann.

10 Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht also darin, ein optisches Übertragungssystem der eingangs erwähnten Art derart auszugestalten, daß die Dispersionskompensation verbessert wird und/oder die durch die Signalverzerrungen reduzierte, regenerationsfrei überbrückbare Übertragungsreichweite  
15 te erhöht wird. Die Aufgabe wird ausgehend von den im Oberbegriff von Patentanspruch 1 angegebenen Merkmalen durch dessen kennzeichnende Merkmale gelöst.

Erfindungsgemäß wird die Aufgabe durch ein optisches Übertragungssystem gelöst, bei dem Dispersionskompensationseinheiten vorgesehen sind, die die Faserdispersion von mehreren Faserstreckenabschnitten derart kompensieren, daß die verbleibende Rest-Dispersion pro kompensierten Faserstreckenabschnitt zumindest nahezu gleichmäßig um jeweils denselben Dispersionsbetrag ansteigt. Vorteilhaft wird durch das erfindungsgemäße nahezu gleichmäßig verteilte Unterkompensieren über die einzelnen optischen Faserstreckenabschnitte im Vergleich zu bisherigen Systemen mit Vollkompensation eine nahezu Verdopplung der regenerationsfrei überbrückbaren Übertragungsreichweite  
25 ermöglicht, d.h. in den jeweiligen Faserstreckenabschnitten wird soweit unterkompensiert bis die verbleibende Rest-Dispersion einem Vielfachen des erfindungsgemäßen Dispersionsbetrags entspricht, wobei die Rest-Dispersion entlang der optischen Übertragungsstrecke pro Faserstreckenabschnitt  
30 jeweils um den Dispersionsbetrag zunimmt.

Nach einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung weist das optische Übertragungssystem eine durch Fasernichtlinearitäten und die Faserdispersion hervorgerufene, akkumulierte Rest-Dispersion auf, die mit zunehmender Datenrate nahezu linear abnimmt - Anspruch 2. Der nichtlineare Effekt Selbstphasenmodulation und die Group Velocity Dispersion (GVD) sind die Ursache für die akkumulierte Rest-Dispersion am Ende des letzten Faserstreckenabschnitts der optischen Übertragungstrecke. Sie sind bei vollkompensierten Faserstreckenabschnitten nahezu unabhängig von der Eingangsleistung des optischen Datensignals und beeinflussen sich gegenseitig, d.h. die Selbstphasenmodulation kann eine dispersionskompensierende Wirkung aufweisen. Desweiteren nimmt mit zunehmender Datenrate die Group Velocity Dispersion in den optischen Fasern zu, während die Selbstphasenmodulation nahezu unverändert bleibt. Somit trägt die Selbstphasenmodulation (SPM) im optischen Übertragungssystem zur Dispersionskompensation bei, wobei die dispersionskompensierende Wirkung der Selbstphasenmodulation (SPM) mit zunehmender Datenrate hinsichtlich der Group Velocity Dispersion geringer wird, d.h. die akkumulierte Rest-Dispersion nimmt ab mit zunehmender Datenrate.

Gemäß einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung sind die Dispersionskompensationseinheiten zur Kompensation der Faserdispersion von allen optischen Faserstreckenabschnitten vorgesehen - Anspruch 3. Nimmt auf vorteilhafte Weise in allen Faserstreckenabschnitten des optischen Übertragungssystems die Rest-Dispersion jeweils zumindest nahezu gleichmäßig um denselben Dispersionsbeitrag zu, so kann die maximale regenerationsfrei überbrückbare Übertragungreichweite realisiert werden.

Vorteilhaft weisen alle optischen Faserstreckenabschnitte des optischen Übertragungssystems nahezu dieselbe Länge auf - Anspruch 4, wobei zusätzlich die optischen Fasern der Faserstreckenabschnitte eine Mindestlänge von 20 Kilometern aufweisen - Anspruch 6. Bei einer Mindestlänge von ca. 20 Kilo-

metern besitzen die durch die Faserdispersion und die Faser-nichtlinearitäten hervorgerufenen Signalverzerrungen nahezu den Maximalwert. Durch die Aufteilung des optischen Übertragungssystems in nahezu gleich lange optische Faserstreckenabschnitte, deren Anzahl durch die regenerationsfrei zu überbrückende optische Übertragungsstrecke und der akkumulierten Rest-Dispersion bestimmt wird, kann durch eine einfache modulare Bauweise ein hinsichtlich der Dispersionkompensation und der regenerationsfrei überbrückbaren Übertragungsreichweite optimiertes optisches Übertragungssystem realisiert werden. Insbesondere kann durch den dadurch bedingten symmetrischen Aufbau das optische Übertragungssystem besonders vorteilhaft in einem bidirektionalen Betriebsmodus betrieben werden - Anspruch 7.

Vorteilhafte Weiterbildungen und Ausbildungen des erfindungsgemäßen optischen Übertragungssystems sind in den weiteren Patentansprüchen beschrieben.

Die Erfindung soll im folgenden anhand eines Prinzipschaltbildes und zweier Diagramme näher erläutert werden.

Figur 1 zeigt den prinzipiellen Aufbau eines optischen Übertragungssystems,

Figur 2 zeigt in einem Diagramm das erfindungsgemäße Dispersionmanagementschema und

Figur 3 zeigt in einem weiteren Diagramm die regenerationsfrei überbrückbare Anzahl der kompensierten Faserstreckenabschnitte in Abhängigkeit von der verteilten Unter- bzw. Überkompensation.

In Figur 1 ist ein optisches Übertragungssystem OTS schematisch dargestellt, das eine optische Sendeeinrichtung TU und eine optische Empfangseinrichtung RU aufweist. Die optische Sendeeinrichtung TU ist über N optische, jeweils einen Eingang I und einen Ausgang E aufweisende Faserstreckenabschnitte  $FDS_1$  bis  $FDS_N$  mit der optischen Empfangseinrichtung RU

verbunden, die jeweils einen optischen Verstärker EDFA, eine optische Faser SSMF und eine optische Dispersionskompensationseinheit DCU aufweisen.

- 5 In Figur 1 sind beispielhaft ein erster und N-ter optischer Faserstreckenabschnitt  $FDS_1, FDS_N$  dargestellt, wobei ein zweiter bis N-1-ter Faserstreckenabschnitt  $FDS_2$  bis  $FDS_{N-1}$  anhand einer punktierten Linie angedeutet sind. Desweiteren besteht der erste optische Faserstreckenabschnitt  $FDS_1$  aus einem ersten optischen Verstärker  $EDFA_1$ , einer ersten optischen Faser SSMF<sub>1</sub>, beispielsweise einer optischen Standard-Single-Mode-Faser, sowie aus einer ersten optischen Dispersionskompensationseinheit DCU<sub>1</sub>, wobei zwischen der ersten optischen Faser SSMF<sub>1</sub> und der ersten optischen Dispersionskompensationseinheit DCU<sub>1</sub> noch ein optischer Vorverstärker – in Figur 1 nicht dargestellt – vorgesehen werden kann. Analog dazu weist der N-te optische Faserstreckenabschnitt  $FDS_N$  einen N-ten optischen Verstärker  $EDFA_N$ , eine N-te optische Faser SSMF<sub>N</sub> und eine N-te optische Dispersionskompensationseinheit DCU<sub>N</sub> auf.
- 10 Analog kann auch hier zwischen N-ter optische Faser SSMF<sub>N</sub> und N-ter optischer Dispersionskompensationseinheit DCU<sub>N</sub> ein weiterer optischer Vorverstärker – in Figur 1 nicht dargestellt – vorgesehen sein.
- 25 Das optische Datensignal bzw. der optische Datenstrom OS wird von der optischen Sendeeinrichtung TU zum Eingang I des ersten optischen Faserstreckenabschnitt  $FDS_1$  übermittelt. Innerhalb des ersten optischen Faserstreckenabschnitts  $FDS_1$  wird das optische Datensignal OS mit Hilfe des ersten optischen Verstärker  $EDFA_1$  verstärkt und über die erste optische Faser SSMF<sub>1</sub> zur ersten Dispersionskompensationseinheit DCU<sub>1</sub> übertragen. In der ersten Dispersionskompensationseinheit DCU<sub>1</sub> werden die durch die optische Übertragung über die erste optische Faser SSMF<sub>1</sub> hervorgerufenen Signalverzerrungen des optischen Datensignals OS bis auf eine erste Rest-Dispersion  $D_{rest1}$ , die im Falle der ersten Dispersionskompensationseinheit DCU<sub>1</sub> dem erfindungsgemäßen Dispersionsbetrag  $\Delta D$  ent-
- 30
- 35

spricht, kompensiert. Die festgelegte Rest-Dispersion  $D_{\text{rest}}$  ist ein durch die Anzahl  $N$  der optischen Faserstreckenabschnitte FDS festgelegter Bruchteil der akkumulierten Rest-Dispersion  $D_{\text{akk}}$ , der nahezu gleichmäßig mit jedem kompensierten Faserstreckenabschnitt FDS um nahezu denselben Dispersionsbetrag  $\Delta D$  ansteigt.

Die akkumulierte Rest-Dispersion  $D_{\text{akk}}$  wird durch die Faser-nichtlinearitäten und die Faserdispersion hervorgerufen und liegt am Ende des  $N$ -ten Faserstreckenabschnitts  $\text{FDS}_N$  vor. Außerdem wird die akkumulierte Rest-Dispersion  $D_{\text{akk}}$  aufgrund der für die Rückgewinnung der Daten aus dem optischen Datensignal OS geforderten Parametern für das Augendiagramm "eye-opening" am Ende des  $N$ -ten Faserstreckenabschnitts  $\text{FDS}_N$  nicht kompensiert. Somit ist das am Ausgang E des ersten optischen Faserstreckenabschnitts  $\text{FDS}_1$  anliegende optische Datensignal OS nicht vollständig dispersionskompensiert, sondern unterkompensiert.

Analog dazu wird das optische Datensignal OS über die weiteren optischen Faserstreckenabschnitte FDS zum Eingang I des  $N$ -ten optischen Faserstreckenabschnittes  $\text{FDS}_N$  übertragen. Das am Eingang I des  $N$ -ten optischen Faserstreckenabschnittes  $\text{FDS}_N$  anliegende optische Datensignal OS wird mit Hilfe des  $N$ -ten optischen Verstärker  $\text{EDFA}_N$  verstärkt und über die  $N$ -te optische Faser  $\text{SSMF}_N$  zu der  $N$ -ten Dispersionskompensationseinheit  $\text{DCU}_N$  übermittelt. In der  $N$ -ten Dispersionskompensationseinheit  $\text{DCU}_N$  wird die von der  $N$ -ten optischen Faser  $\text{SSMF}_N$  hervorgerufene Faserdispersion des optischen Datensignals OS teilweise kompensiert, woraus erkennbar ist, daß die Rest-Dispersion  $D_{\text{rest}}$  des optischen Datensignals OS nahezu gleichmäßig um den vorgegebenen Dispersionsbetrag  $\Delta D$  ansteigt und nach der  $N$ -ten Dispersionskompensation der akkumulierten Rest-Dispersion  $D_{\text{akk}}$  entspricht. Das am Ausgang E des  $N$ -ten optischen Faserstreckenabschnitts  $\text{FDS}_N$  anliegende optische Datensignal OS wird zur optischen Empfangseinrichtung RU übertragen und gegebenenfalls vor der Weiterverarbeitung ei-

ner 3R - Regeneration unterzogen - nicht in Figur 1 dargestellt.

In Figur 2 ist beispielhaft ein erfindungsgemäßes Dispersion-  
5 managementschema DCS anhand eines Diagramms schematisch dargestellt. Daraus wird deutlich, daß sich das optische Übertragungssystem OTS erfindungsgemäß aus mehreren optischen Faserstreckenabschnitten FDS zusammensetzt, die jeweils eine optische Faser SSMF und eine Dispersionskompensationseinheit  
10 DCF, beispielsweise eine dispersionskompensierende Faser, aufweisen. Zur Erläuterung des erfindungsgemäßen Dispersionsmanagementschemas DCS ist die Anzahl der optischen Faserstreckenabschnitte auf vier ( $N=4$ ) beschränkt, so daß in Figur 2 sind ein erster, zweiter, dritter und vierter optischer Faserstreckenabschnitt  $FDS_1, FDS_2, FDS_3, FDS_4$  dargestellt sind, wobei  
15 der erste optische Faserstreckenabschnitt  $FDS_1$  eine erste optische Faser  $SSMF_1$  und eine erste optische Dispersionskompensationseinheit  $DCF_1$ , der zweite optische Faserstreckenabschnitt  $FDS_2$  eine zweite optische Faser  $SSMF_2$  und eine zweite optische Dispersionskompensationseinheit  $DCF_2$ , der dritte optische Faserstreckenabschnitt  $FDS_3$  eine dritte optische Faser  $SSMF_3$  und eine dritte optische Dispersionskompensationseinheit  $DCF_3$  und der vierte optische Faserstreckenabschnitt  $FDS_4$  eine vierte optische Faser  $SSMF_4$  und eine vierte optische  
20 Dispersionskompensationseinheit  $DCF_4$  aufweist. Hierbei ist für das Dispersionsmanagementschema DCS des Ausführungsbeispiels beispielsweise eine nahezu gleiche Länge für die erste bis vierte optische Faser  $SSMF_1$  bis  $SSMF_4$  sowie für die erste bis vierte dispersionskompensierende Faser  $DCF_1$  bis  $DCF_4$  gewählt.  
30

Das Diagramm weist eine horizontale (Abszisse) und eine vertikale Achse (Ordinate)  $x, d$  auf, wobei durch die horizontale Achse die Entfernung  $x$  von der optischen Sendeeinrichtung TU  
35 bzw. die Reichweite der optischen Datenübertragung und durch die vertikale Achse  $d$  die Faserdispersion  $d$  in der jeweiligen



optischen Faser SSMF bzw. in der dispersionskompensierenden Faser DCF dargestellt ist.

Anhand Figur 2 wird deutlich, daß die Faserdispersion eines  
5 am Eingang I des ersten optischen Faserstreckenabschnitts  
FDS<sub>1</sub> anliegenden optischen Datensignals OS von der optischen  
Sendeeinrichtung TU ( $x=0$ ) entlang der ersten optischen Faser  
SSMF<sub>1</sub> linear ansteigt und am Ende der ersten optischen Faser  
x<sub>1</sub> einen ersten maximalen Dispersionsbetrag  $D_{\max 1}$  annimmt. Der  
10 erste maximale Dispersionsbetrag  $D_{\max 1}$  wird mit Hilfe der er-  
sten Dispersionskompensationseinheit DCF<sub>1</sub> bzw. der ersten  
dispersionskompensierenden Faser teilweise kompensiert, d.h.  
am Ende der ersten dispersionskompensierenden Faser x<sub>2</sub> liegt  
eine erste Rest-Dispersion  $D_{\text{rest}1}$  vor, die am Ausgang E der  
15 ersten Dispersionskompensationseinheit DCF<sub>1</sub> dem Dispersions-  
betrag  $\Delta D$  entspricht.

Durch die sich anschließende zweite optische Faser SSMF<sub>2</sub>  
nimmt die Faserdispersion  $d$  von der ersten Rest-Dispersion  
20  $D_{\text{rest}1}$  bis zu einem zweiten maximalen Dispersionsbetrag  $D_{\max 2}$   
zu, welcher am Ende der zweiten dispersionskompensierenden  
Faser x<sub>3</sub> vorliegt. Der zweite maximale Dispersionsbetrag  $D_{\max 2}$   
wird mit Hilfe der zweiten Dispersionskompensationseinheit  
DCF<sub>2</sub> bzw. der zweiten dispersionskompensierenden Faser soweit  
25 kompensiert bis die zweite Rest-Dispersion  $D_{\text{rest}2}$  dem zweifa-  
chen des Dispersionsbetrags  $\Delta D$  entspricht, d.h. die verblei-  
bende Rest-Dispersion  $D_{\text{rest}}$  steigt gleichmäßig pro optischen  
Faserstreckenabschnitt FDS jeweils um den Dispersionsbetrag  
 $\Delta D$  an. Somit liegt am Ende der zweiten dispersionskompensie-  
renden Faser x<sub>4</sub> eine zweite Rest-Dispersion  $D_{\text{rest}2}$  vor, die am  
30 Ausgang E der zweiten Dispersionskompensationseinheit bzw.  
der zweiten dispersionskompensierenden Faser DCF<sub>2</sub> dem Zweifa-  
chen des Dispersionsbetrags  $\Delta D$  entspricht.

35 Das von der zweiten dispersionskompensierenden Faser DCF<sub>2</sub> an  
die dritte optische Faser SSMF<sub>3</sub> übermittelte optische Daten-  
signal OS erfährt in der dritten optischen Faser SSMF<sub>3</sub> wie-

derum durch die Faserdispersion  $d$  hervorgerufene Signalverzerrungen, die am Ende der dritten optischen Faser  $x_5$  einen dritten maximalen Dispersionsbetrag  $D_{\max 3}$  annehmen. Der dritte Dispersionsbetrag  $D_{\max 3}$  wird durch die dritte optische Dispersionskompensationseinheit  $DCF_3$  derartig unterkompensiert, daß die verbleibende dritte Rest-Dispersion  $D_{\text{rest}3}$  dem Dreifachen des erfindungsgemäßen Dispersionsbetrages  $\Delta D$  entspricht, d.h. die Rest-Dispersion  $D_{\text{rest}}$  nimmt am Ende der dritten dispersionskompensierenden Faser  $x_6$  eine dritte Rest-Dispersion  $D_{\text{rest}3}$ , die im Vergleich zur zweiten Rest-Dispersion  $D_{\text{rest}2}$  nochmals um den Dispersionsbetrag  $\Delta D$  zugenommen hat.

Desweiteren wird das am Ausgang E der dritten dispersionskompensierenden Faser  $DCF_3$  anliegende optische Datensignal OS an die vierte und letzte optische Faser  $SSMF_4$  des optischen Übertragungssystems OTS übermittelt. Anhand Figur 2 wird deutlich, daß die Faserdispersion  $d$  weiterhin zunimmt und am Ende der vierten optischen Faser  $x_7$  einen vierten maximalen Dispersionsbetrag  $D_{\max 4}$  aufweist. Mit Hilfe der vierten Dispersionskompensationseinheit  $DCF_4$  wird der vierte maximale Dispersionsbetrag  $D_{\max 4}$  auf den Betrag der akkumulierten Rest-Dispersion  $D_{\text{akk}}$  reduziert, welcher dem Vierfachen des erfindungsgemäßen Dispersionsbetrages  $\Delta D$  entspricht. Somit weist am Ende der optischen Übertragungsstrecke bzw. am Ende des vierten Faserstreckenabschnitts  $x_8$  die verbleibende Rest-Dispersion  $D_{\text{rest}}$  des optischen Übertragungssystems OTS den Betrag der akkumulierten Rest-Dispersion  $D_{\text{akk}}$  auf.

Durch das erfindungsgemäße gleichmäßige "Aufteilen" der für das jeweilige optische Übertragungssystem OTS berechneten bzw. geschätzten akkumulierten Rest-Dispersion  $D_{\text{akk}}$  auf eine festgelegte Anzahl von Faserstreckenabschnitte FDS wird die regenerationsfrei überbrückbare Übertragungsreichweite  $x_8$  nahezu verdoppelt. Hierbei werden die Faserstreckenabschnitte FDS des optischen Übertragungssystems, unabhängig von der Länge der jeweiligen optischen Faser  $SSMF$ , jeweils bis auf eine durch die akkumulierte Rest-Dispersion  $D_{\text{akk}}$  festgelegte

Rest-Dispersion  $D_{\text{rest}}$  unterkompensiert, wobei die Rest-Dispersion  $D$  von Faserstreckenabschnitt  $FDS_1$  zu Faserstreckenabschnitt  $FDS_2$  um jeweils denselben Dispersionsbetrag ansteigt.

5

Im Vergleich zu einem den jeweiligen Faserstreckenabschnitt  $FDS$  eines optischen Übertragungssystems  $OTS$  vollständig kompensierenden Dispersionsmanagementschema  $DCS$  kann durch das erfindungsgemäße Dispersionsmanagementschema  $DCS$  der verteil-

10 ten Unterkompensation die regenerationsfrei überbrückbare Reichweite erheblich erhöht werden, welches zu einer Einsparung von kostenintensiven elektrischen  $3R$ -Regenerationseinrichtungen führt.

15 Desweiteren ist aufgrund des aus Figur 2 erkennbaren, symmetrischen Aufbaus des optischen Übertragungssystems  $OTS$  auf einfache Art und Weise eine bidirektionale Datenübertragung über die betrachteten Faserstreckenabschnitte  $FDS$  realisierbar.

20

Zusätzlich kann ein eine optische Faser  $SSMF$  und eine Dispersionskompensationseinheit  $DCF$  aufweisender Faserstreckenabschnitt  $FDS$  als optisches Übertragungsmodul  $M$  ausgestaltet sein. Somit kann das optische Übertragungssystem  $OTS$  durch

25 eine Serienschaltung derartiger optischer Übertragungsmodule  $M$  gebildet werden. Eine derartige modulare Bauweise erleichtert die Realisierung einer optischen Übertragungsstrecke bzw. Erweiterung einer bestehenden optischen Übertragungsstrecke in der Praxis erheblich.

30

Weiterhin ist die Verwendung der erfindungsgemäßen, verteilten Unterkompensation besonders vorteilhaft bei optischen Übertragungssystemen, die aufgrund der Datenübertragung mit Hilfe von mehreren Übertragungskanälen eine starke Kreuz-

35 Phasen-Modulation (XPM) als hinsichtlich der regenerationsfrei überbrückbaren Übertragungsreichweiten limitierenden Effekt aufweisen. Diese starke Kreuz-Phasen-Modulation (XPM)

kann durch das erfindungsgemäße Vorsehen einer geringen, lokalen Rest-Dispersion  $D_{rest}$  am Ende eines Faserstreckenabschnitts FDS unterdrückt werden. Somit wird durch die erfindungsgemäße verteilte Unterkompensation nicht nur die Selbstphasenmodulation (SPM) unterdrückt, sondern nahezu gleichzeitig der Einfluß der Kreuz-Phasen-Modulation (XPM) erheblich verringert.

In Figur 3 ist in einem weiteren Diagramm die regenerationsfrei überbrückbare Anzahl der kompensierten Faserstreckenabschnitte  $n_{fs}$  in Abhängigkeit von der verteilten Unter- bzw. Überkompensation  $uoc$  für unterschiedliche Eingangsleistungen  $P_{4dBm}$ ,  $P_{6dBm}$ ,  $P_{9dBm}$ ,  $P_{12dBm}$ ,  $P_{15dBm}$  des optischen Datensignals OS dargestellt.

Das weitere Diagramm weist eine horizontale (Abszisse) und eine vertikale Achse (Ordinate)  $uoc, n_{fs}$  auf, wobei durch die horizontale Achse das zur Dispersionskompensation vorgesehene Schema "Unter- bzw. Überkompensation" des optischen Übertragungssystems OTS und durch die vertikale Achse  $n_{fs}$  die Anzahl der kompensierten Faserstreckenabschnitte FDS des optischen Übertragungssystems OTS dargestellt ist. Daraus läßt sich erkennen, daß durch die erfindungsgemäße gleichmäßige Unterkompensation mehrerer Faserstreckenabschnitte FDS eine Erhöhung der regenerationsfrei überbrückbaren Übertragungsbereichs erzielt werden läßt. Die regenerationsfrei überbrückbare Übertragungsbereichs wird im weiteren Diagramm durch die Anzahl der kompensierten Faserstreckenabschnitte FDS des optischen Übertragungssystems OTS verdeutlicht.

Hierzu werden ein erstes bis fünftes optisches Datensignal OS1 bis OS5 einem optischen Test-Übertragungssystem OTS zugeführt, die jeweils eine unterschiedliche Eingangsleistung  $P$  aufweisen. Dabei weist das erste optische Datensignal OS1 eine Eingangsleistung von 4dBm, das zweite optische Datensignal OS2 eine Eingangsleistung von 6dBm, das dritte optische Datensignal OS3 eine Eingangsleistung von 9dBm, das vierte op-

tische Datensignal OS4 eine Eingangsleistung von 12dBm sowie das fünfte optische Datensignal OS5 eine Eingangsleistung von 15dBm auf.

- 5 Die Erhöhung der regenerationsfrei überbrückbaren Übertra-  
gungsbereichweite wird besonders an dem Kurvenverlauf für das  
erste optische Datensignal OS1 deutlich, da das erste opti-  
sche Datensignal OS1 bei einer Unterkompensation von ca. 0,5  
km einer Standard-Einmodenfaser (SSMF) über nahezu 120 Faser-  
10 streckenabschnitte FDS ohne Regeneration übertragen werden  
kann. Hierbei wird der jeweilige Faserstreckenabschnitt FDS  
jeweils durch die dispersionskompensierende Faser DCF soweit  
kompensiert, daß eine Rest-Dispersion  $D_{rest}$  vorliegt, die ei-  
nem unkompensierten optischen Faserstück der Länge eines hal-  
15 ben Kilometers (0,5 km) entspricht.

## Patentansprüche

1. Optisches Übertragungssystem (OTS) bestehend aus mehreren optischen Faserstreckenabschnitten (FDS) mit jeweils einer  
5 optischen Faser (SSMF) und einer Dispersionskompensationseinheit (DCF),  
dadurch gekennzeichnet,  
daß Dispersionskompensationseinheiten (DCF<sub>1</sub> bis DCF<sub>4</sub>) vorgesehen sind, die die Faserdispersion (d) von mehreren Faser-  
10 streckenabschnitten (FDS<sub>1</sub> bis FDS<sub>4</sub>) derart kompensieren, daß die verbleibende Rest-Dispersion (D<sub>rest</sub>) pro kompensierten Faserstreckenabschnitt (FDS<sub>1</sub> bis FDS<sub>4</sub>) zumindest nahezu gleichmäßig um jeweils denselben Dispersionsbetrag ( $\Delta D$ ) ansteigt.
- 15 2. Optisches Übertragungssystem nach Anspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß das optische Übertragungssystem (OTS) eine durch Faser-nichtlinearitäten und die Faserdispersion (d) hervorgerufene, akkumulierte Rest-Dispersion (D<sub>akk</sub>) aufweist, die mit zunehmender Datenrate nahezu linear abnimmt.
- 20 3. Optisches Übertragungssystem nach einem der Ansprüche 1 oder 2,  
dadurch gekennzeichnet,  
25 daß die Dispersionskompensationseinheiten (DCF<sub>1</sub> bis DCF<sub>4</sub>) zur Kompensation der Faserdispersion (d) von allen optischen Faserstreckenabschnitten (FDS<sub>1</sub> bis FDS<sub>4</sub>) vorgesehen sind.
- 30 4. Optisches Übertragungssystem nach einem der Ansprüche 1 bis 3,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß alle optischen Faserstreckenabschnitte (FDS<sub>1</sub> bis FDS<sub>4</sub>) des optischen Übertragungssystems (OTS) nahezu dieselbe Länge aufweisen.
- 35 5. Optisches Übertragungssystem nach einem der Ansprüche 1 bis 4,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
daß ein eine optische Faser (SSMF<sub>1</sub>) und eine Dispersionskom-  
pensationseinheit (DCF<sub>1</sub>) aufweisender Faserstreckenabschnitt  
(FDS<sub>1</sub>) ein optisches Übertragungsmodul (M) realisiert.

5

5. Optisches Übertragungssystem nach Anspruch 4,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
daß das optische Übertragungssystem (OTS) aus mehreren in Se-  
rie angeordneten optischen Übertragungsmodulen (M) gebildet  
10 werden kann.

6. Optisches Übertragungssystem nach einem der Ansprüche 1  
bis 5,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
15 daß die optischen Fasern (SSMF) der Faserstreckenabschnitte  
(FDS) eine Mindestlänge von 20 Kilometern aufweisen.

7. Optisches Übertragungssystem nach einem der Ansprüche 1  
oder 6,

20 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
daß das optische Übertragungssystem (OTS) einen bidirektiona-  
len Betriebsmodus aufweist.

25

## Zusammenfassung

## Optisches Übertragungssystem

- 5 Die Erfindung betrifft ein optisches Übertragungssystem (OTS) bestehend aus mehreren optischen Faserstreckenabschnitten (FDS) mit jeweils einer optischen Faser (SSMF) und einer Dispersionskompensationseinheit (DCF), bei dem Dispersionskom-
- 10 pensationseinheiten (DCF) vorgesehen sind, die die Faserdispersion ( $d$ ) von mehreren Faserstreckenabschnitten (FDS<sub>1</sub> bis FDS<sub>4</sub>) derart kompensieren, daß die verbleibende Rest-
- Dispersion ( $D_{\text{rest}}$ ) pro kompensierten Faserstreckenabschnitt (FDS<sub>1</sub> bis FDS<sub>4</sub>) zumindest nahezu gleichmäßig um jeweils denselben Dispersionsbetrag ( $\Delta D$ ) ansteigt.

15

Figur 2